

1965 MARBURG 1965
Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- u. Kieferkrankheiten
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. hab. Hans Heuser

Thermometrische Untersuchungen am Pulpakammerdach extrahierter Zähne bei verschiedenartigen Temperatureinwirkungen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

Hans-Jürgen Ebert

aus Schömberg

Marburg 1965

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- u. Kieferkrankheiten
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. hab. Hans Heuser

Thermometrische Untersuchungen am Pulpakammerdach extrahierter Zähne bei verschiedenartigen Temperatureinwirkungen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

Hans-Jürgen-Ebert

aus Schömberg

Marburg 1965

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am 29. 7. 1965

gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. H. Hensel

Referent: Prof. Dr. H. Pantke

Korreferent: Prof. Dr. Dr. H. Heuser

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A. Einleitung	5
B. Hauptteil	6
I. Untersuchungsmöglichkeiten von Zahn= schädigungen durch thermische Reize	6
II. Untersuchungsmethode	10
1. Allgemeines	10
2. Präparation der Zähne	11
3. Versuchsanordnung	12
III. Untersuchungsergebnisse	19
1. Untersuchungen an gesunden Front- und Seitenzähnen mit unterschiedlich tem= periertem Wasser	19
2. Untersuchungen über die Abbindewärme schnellhärtender Kunststoffe	23
3. Untersuchungen über die Abbindewärme von Zahnzementen	29
4. Temperaturmessungen bei thermoplasti= schen provisorischen Verschlußmitteln und thermoplastischen Abdruckmaterialien	30
5. Temperaturmessungen beim Finieren und Polieren von Amalgam- und Goldguß= füllungen	34
6. Untersuchungen an gefüllten Zähnen mit unterschiedlich temperiertem Wasser	36
7. Temperaturmessungen bei der Präparation von okklusalen Kavitäten mit der Dental= Turbine und der schnurgetriebenen Bohr= maschine	38
IV. Diskussion der Ergebnisse	41
C. Zusammenfassung	46
D. Literaturverzeichnis	48

A. Einleitung

Als vor einigen Jahren die luftgetriebenen Bohrmaschinen in den Handel kamen, ist die Frage der thermischen Schädigung der Pulpa sehr aktuell geworden, da bei diesen Geräten auf Grund ihrer hohen Umdrehungsgeschwindigkeiten (bis etwa 300.000 U.p.Min.) eine große Wärmeentwicklung bei der Präparation zu erwarten war.

Aber auch andere zahnärztliche Maßnahmen gehen mit Wärmeentwicklung einher. Hierzu liegen nur vereinzelte Untersuchungen vor, deren Ergebnisse jedoch nur bedingt einen Vergleich zulassen, da die Versuchsanordnung sowie die Meßtechnik unterschiedlich gewählt wurden.

Unsere Aufgabe bestand nun darin, die vorhandene Lücke zu schließen, indem wir bei den Füllungsmaterialien "CADURIT-P", "PALAVIT 55", "PALAVIT G", "SEVRITON SIMPLIFIED und "SWEDON" sowie bei den Zahnzementen ACHATIT, FIXODONT, KUPFERZEMENT, PLERODONT und Steinzement Messungen über die beim Erhärten freigesetzte Reaktionswärme durchführten. Ferner untersuchten wir die bei der Verwendung der thermoplastischen provisorischen Verschlußmittel bzw. der thermoplastischen Abdruckmaterialien GUTTAPERCHA, DUOPERCHA, KERR und PREPON-Gußwachs sowie die bei der Politur von Amalgam- und Goldgußfüllungen mit Gummipoliern auftretenden Temperaturen. Aus Vergleichsgründen führten wir darüber hinaus Untersuchungen mit der Dental-Turbine durch.

B. Hauptteil

I. Untersuchungsmöglichkeiten von Zahnschädigungen durch thermische Reize

Es ist allgemein bekannt, daß thermische Reize an einem Zahn Schmerzen hervorrufen können. Nach HENSEL und MANN gehen aber die Angaben über die Temperaturen, die zu einer Schmerzempfindung führen, auf Grund unterschiedlicher Versuchsbedingungen weit auseinander. Die oben genannten Autoren fanden bei ihren Untersuchungen, daß zur Schmerzauslösung offenbar Temperaturwerte oberhalb $48,9^{\circ}\text{C}$ und unterhalb $24,6^{\circ}\text{C}$ im Pulparaum erforderlich sind.

Aber es besteht nicht nur Unklarheit darüber, welche thermischen Reize zur Schmerzauslösung führen, sondern auch, welche Temperaturen eine Schädigung des Zahnmarkes hervorrufen. Diese Untersuchungen auf Schädigung der Pulpa sind äußerst bedeutungsvoll, da die Erhaltung der Vitalität und Funktion der Pulpa oberster Grundsatz aller zahnärztlicher Maßnahmen sein soll.

Eine Möglichkeit, die Pulpa auf Schädigungen durch thermische Reize zu untersuchen, besteht darin festzustellen, welche pathohistologische Veränderungen und Reaktionen dabei auftreten.

Aus der allgemeinen Pathologie kennen wir die Bezeichnung Verbrennung bzw. Verbrühung als örtliche Einwirkung hoher Temperaturen auf den menschlichen Körper, wobei der Verbrennungseffekt abhängig ist von der einwirkenden Temperatur und der Dauer ihrer Einwirkung.

Nach HAMPERL führen hohe Temperaturen sofort oder schon nach kurzer Zeit zur Verbrennung. Gleichzeitig weist er aber darauf hin, daß man auch durch lange Einwirkung von niedrigen Temperaturen Verbrennungen erzielen kann, wie folgende Aufstellung zeigt, welche die für die Entstehung einer Verbrennung nötigen Mindestzeiten angibt:

$65^{\circ} = 2 \text{ sec.}$

$60^{\circ} = 5 \text{ sec.}$

$58^{\circ} = 10 \text{ sec.}$

$50^{\circ} = 5 \text{ Min.}$

$47^{\circ} = 2 \text{ Std.}$

Diese speziell für die äußere und innere Oberfläche des menschlichen Körpers zutreffenden Zahlenwerte lassen sich auf die Pulpa nicht ohne weiteres übertragen, da die auf die Zähne einwirkenden Temperaturreize zunächst den dicken Mantel an Zahnhartsubstanzen durchdringen müssen, um an das Zahnmark zu gelangen. Schmelz und Dentin gewährleisten also im Vergleich zum verhornten Epithel der äußeren Haut einen stärkeren Schutz gegen thermische Reize.

Der Verbrennungseffekt an Schmelz und Dentin wird u.a. von HOFMANN, KLUCZKA und STEIN beschrieben. Er ist besonders stark ausgeprägt beim hochtourigen Bohren und Schleifen ohne Kühlung bzw. bei der Verwendung von abgenutzten Bohr- und Schleifinstrumenten. Dabei sollen nach HOFMANN an den Berührungsstellen von Zahnhartgewebe und Schleifkörper je nach Stärke der Dentinschicht örtlich begrenzt Temperaturen bis zu 250°C , im Extremfall bis 600°C , auftreten.

Derselbe Autor konnte an Hand von Zahnschliffen ferner nachweisen, daß sich die Wärme im Zahnbein vom Ort der Entstehung nicht gleichmäßig in alle Richtungen des Raumes ausbreitet, sondern schlauchartig, den kürzesten Weg zur Pulpa suchend, vordringt. Der Weg scheint mit dem Verlauf der Dentinkanälchen zusammenzufallen.

Die pathohistologischen Reaktionen der Pulpa selbst auf thermische Reize, die z.B. bei der Präparation mit luftgetriebenen Bohr- und Schleifinstrumenten auftreten, werden u.a. von FUHR, HOFMANN, KLUCZKA, STÜBEN und HOPPE sowie WEDER beschrieben.

STÜBEN und HOPPE glauben nicht, daß die von ihnen durch elektrothermische Messung am Pulpadach ermittelte geringe Temperaturabweichungen von der Eigentemperatur zwischen -6°C und $+8^{\circ}\text{C}$ die alleinige Ursache für die beobachteten Veränderungen des Zahnmarkes ist. Vielmehr sind sie der Meinung, daß der

auslösende Faktor für die auftretenden Gewebsreaktionen in einer Störung der Isotonie und Isoionie der Gewebsflüssigkeit zu suchen ist.

WEDER hat folgende histologische Veränderungen nach den in der Literatur angegebenen Pulpareaktionen und nach eigenen Ergebnissen als Reaktionen der Pulpa auf die Präparation gewertet und in einer Tabelle zusammengestellt:

1. Veränderungen des Dentins
2. Odontoblastenkerne in den Dentinkanälchen
3. Unterbrechung der pulpo-dentinalen Membran
4. Hohlräume im Pulpengewebe
5. Vakuolen in der Odontoblastenschicht
6. Geschrumpfte und reduzierte Odontoblasten
7. Verwaschene Strukturen und unscharfe Begrenzung der Odontoblastenschicht
8. Veränderte Gefäße (vermehrt und vergrößert)
9. Infiltrationszellen im Gewebe
10. Mikrohämmorrhagien
11. Exsudate und ödematöse Durchtränkung des Pulpa-gewebes
12. Nekrose

WEDER weist aber gleichzeitig auf die Schwierigkeiten in der Auswertung histologischer Präparate hin, die u.a. darin bestehen, daß die Reaktion der Pulpa auf exogene Einflüsse aller Art, so auch auf thermische Reize, weitgehend vom Ausgangszustand des Zahnorganes und des Zahnmarkes abhängig ist. Dieser kann nach VOGELSANG auch bei jugendlichen analogen Zähnen sehr unterschiedlich sein. KLUCZKA und MÜLLER geben zu bedenken, daß histologisch gesehen eine vollkommen einwandfreie Pulpa eine Seltenheit ist.

Es ist nach WEDER deshalb problematisch, genaue Angaben über die pathohistologische Reaktion des Zahnmarkes zu machen und zu vergleichen, da diese sich immer auf verschiedene Pulpen verschiedener Zähne, verschiedener Individuen mit verschiedenen Reaktionen beziehen müssen.

Da diese Schwierigkeiten bestehen, wählten wir einen anderen

Weg, indem wir thermometrische Untersuchungen am Pulpakammer=dach durchführten. Dabei gingen wir von der Überlegung aus, daß Temperaturen, die naturgemäß beim Genuß von Flüssigkeiten auftreten und damit als physiologisch gelten können, keine Schädigung hervorrufen dürften. Wir führten deshalb Untersuchungen an gesunden Front- und Seitenzähnen mit Wasser von 55°C durch und fällten unser Urteil darüber, ob eine Temperatur für das Zahnmark eventuell schädigend wirken kann oder nicht, im Vergleich zu den Ergebnissen dieser Untersuchungen. Bei Temperaturwerten, die zeitlich und in ihrer Höhe in diesem "physiologischen Bereich" liegen, ist eine Schädigung u.E. unwahrscheinlich.

II. Untersuchungsmethode

1. Allgemeines

Um eine exakte Temperaturmessung im Zahn zu gewährleisten, ist nach STÜBEN eine Reihe von Faktoren zu berücksichtigen, unter denen den physikalischen Eigenschaften der Meßsonde eine wesentliche Bedeutung zukommt. Wahre Temperaturabläufe im Zahn lassen sich nach seinen Feststellungen nur dann erfassen, wenn die Wärmeausbreitung in dem Gewebe durch die eingelegte Thermosonde nicht gestört wird. Das ist der Fall, wenn ihre Wärme- und Temperaturleitfähigkeit mit dem Hartgewebe weitgehend übereinstimmt. STÜBEN schreibt dazu: "Das Thermoelement soll tunlichst aus Eisen-Konstantan aufgebaut sein. Kupfer besitzt für unsere Zwecke eine viel zu große Wärme- und Temperaturleitzahl. Aber auch die relativ geringen Leitfähigkeiten des Eisens und des Konstantans übersteigen die Werte für das Dentin noch wesentlich." Deshalb rät STÜBEN, den Temperaturablauf im Zahn nur mit Thermoelementen aus dünnsten Drähten (0,1 mm Durchmesser) aufzunehmen, um die Wärmeleitung der Meßsonde und den Verlust an Wärmeenergie möglichst klein zu halten. Letzterer steigt mit zunehmendem Drahtquerschnitt.

Es ist ferner darauf zu achten, den Übergang von Thermoelement zu Zahnhartsubstanz luftfrei herzustellen. Luft hat eine sehr kleine Wärmeleitzahl; die Temperatur des Dentins wird deshalb nur zögernd dem Thermoelement mitgeteilt (nach STÜBEN).

Einen weiteren bedeutenden Faktor, dessen Nichtbeachtung zu Fehlmessungen führen kann, fanden wir bei unseren Vorversuchen. Da die Krone des Zahnes aus der den übrigen Zahn bis etwa zur Schmelz-Dentin-Grenze allseitig umgebenden Flüssigkeit herausragte und die Raumtemperatur angenommen hatte, befand sich das Thermoelement am Pulpakammerdach auf einer niedrigeren Temperatur als das Vergleichsthermoelement in der Flüssigkeit. Der Unterschied wurde um so größer, je dünner die verbleibende Dentinschicht der vorher präparierten Kavitäten zum Zahnmark war. Das Thermoelement am Pulpakammerdach registrierte also das zwischen der Zimmertemperatur und der erwärmten Flüssig-

keit bestehende Temperaturgefälle. - Diese Fehlerquelle konnten wir dadurch beseitigen, daß wir die wahre Temperatur des Hauptelementes, die sich aus der Differenz zur Bezugstemperatur des Gegenelementes (37°C) ergibt, vor jedem Versuch auf dem Registrierpapier sichtbar machten. Eine Erniedrigung der Flüssigkeitstemperatur durch den Thermostaten bis zum Ausgleich der Differenz zwischen den Thermoelementen kam nicht in Frage, da die Gegebenheiten dadurch nicht mehr auch nur annähernd den physiologischen Verhältnissen im Mund entsprochen hätten.

In der Versuchsanordnung II konnte dieser Faktor auf Grund anderer Versuchsbedingungen, die keine trockene Kavität voraussetzten, durch die zusätzliche Verwendung eines kleinen Flüssigkeitsbehälters, der auch die Temperatur der Zahnkrone annähernd konstant auf 37°C hielt, ganz ausgeschaltet werden.

Allen unseren Untersuchungen lag der Gedanke zugrunde, die Versuche unter möglichst praxisnahen Bedingungen durchzuführen und eine weitgehende Annäherung an die anatomisch-physiologischen Verhältnisse im Mund des Patienten zu erreichen.

2. Präparation der Zähne

Wegen der Schwierigkeit, Temperaturmessungen an vitalen Zähnen vorzunehmen und eine genügende Anzahl Patienten dafür zu finden, führten wir unsere Untersuchungen an extrahierten Zähnen durch. Es wurden ausschließlich gesunde, kariesfreie Zähne verwendet, wobei das Alter der Patienten unberücksichtigt blieb. Nach STÜBEN hat sich der Verdacht nicht bestätigt, daß die Zahnhartsubstanzen bei älteren Patienten auf Grund fortgeschrittener Mineralsalzeinlagerungen eine andere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als bei jüngeren Patienten.

Um bei unseren Untersuchungen mit schnellhärtenden Kunststoffen, Zahnzementen, thermoplastischen provisorischen Verschlußmitteln und thermoplastischen Abdruckmaterialien mehrere Einzelversuche an einem Zahn ausführen zu können und damit eine gute Vergleichsmöglichkeit zu haben, wurden die an Größe und Tiefe unterschiedlichen Kavitäten schwach konisch präpariert. Dadurch ließen sich alle Füllungen leicht entfernen, ohne die

Kavitätenwände zu verletzen. Die Molaren wurden zuvor an ihrer okklusalen Fläche, entsprechend der Ausprägung ihres Höcker- und Fissurenbildes, ein- bzw. mehrflächig plangeschliffen. Damit war die Gewähr gegeben, daß stets die gleiche Menge an Füllmaterial zur Wirkung kam und das Volumen exakt berechnet werden konnte. Die Unterfüllung wurde, gemäß den klinischen Bedingungen, erst vor dem eigentlichen Einzelversuch gelegt.

Um der Austrocknung von Schmelz und Dentin vorzubeugen, bewahren wir alle Zähne in physiologischer Kochsalzlösung auf.

Die spezielle Präparation zur Aufnahme des Thermoelementes bestand darin, von der Bifurkation aus einen Zugang zum Dach des Pulpakavums zu schaffen, der groß genug war, um die Meßsonde unter Sichtkontrolle exakt daran zu befestigen.

3. Versuchsanordnung

Wir stellten zwei Versuchsanordnungen zusammen. Für unsere Untersuchungen mit schnellhärtenden Kunststoffen, Zahnzementen, thermoplastischen provisorischen Verschlußmitteln und thermoplastischen Abdruckmaterialien verwendeten wir die Versuchsanordnung I. Diese Versuchsanordnung benutzten wir auch zu unseren Messungen beim Finieren und Polieren von Amalgam- und Goldgußfüllungen sowie bei der Präparation von okklusalen Kavitäten. Für unsere Untersuchungen an Front- und Seitenzähnen mit unterschiedlich temperiertem Wasser diente die Versuchsanordnung II, die aus der Versuchsanordnung I hervorging, aber durch zusätzliche technische Einrichtungen und Maßnahmen speziell auf diese Untersuchungen abgestimmt war.

Auf der Abbildung 1, die einen Gesamtüberblick über die Versuchsanordnung I vermittelt, ist die Temperaturmeßanlage und der Flüssigkeits-Thermostat mit dem angeschlossenen doppelwandigen Gefäß zu erkennen.

Die von uns zusammengestellte Temperaturmeßanlage bestand aus zwei "Multiflex-Galvanometern" (Dr. LANGE), um gleichzeitig die Temperatur am Pulpakammerdach und in der Zahnfüllung messen zu können. Diese Galvanometer waren mit Nachlaufschreibern

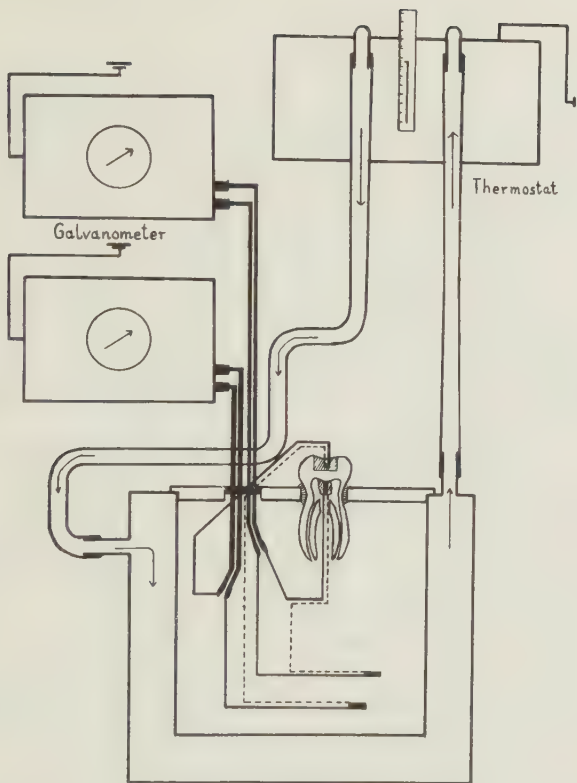


Abb. 1

Versuchsanordnung I zur Messung von Temperaturen am Pulpakammerdach und in der Kavität bei Verwendung verschiedener Füllungsmaterialien sowie beim Bohren und Polieren

verbunden, die mit Hilfe einer Photozelle die Ausschläge des Lichtzeigers auf eine mit konstanter Geschwindigkeit rotierende Registriertrommel übertrugen. Auf diese Weise erfolgte gleichzeitig eine Registrierung der Zeit.

Als Meßsonden dienten je zwei 0,1 mm starke Kupfer-Konstantan-Thermoelemente, bestehend aus Hauptelement und Gegenelement. Die lackisolierten Enden der Thermosonden verlöteten wir mit stärkeren Kupferdrähten, die wir an dem Deckel des mit physiologischer Kochsalzlösung angefüllten doppelwandigen Gefäßes befestigten. Diese Lötstellen, die nachträglich noch mit Zaponlack isoliert wurden, tauchten wir zusammen mit den Gegenelementen in die Kochsalzlösung. Auf diese Weise bezogen sich alle an den Hauptelementen auftretenden Temperaturen auf die konstante Wasserbadtemperatur. Gleichzeitig wurden alle Temperaturentschwankungen außerhalb der beiden Meßkreise ausgeschaltet.

Mit Hilfe des Kontaktthermometers im Flüssigkeitsthermostaten ließ sich die Wasserbadtemperatur bis auf $0,1^{\circ}\text{C}$ genau einstellen. Damit wurde eine annähernd konstante Temperatur der physiologischen Kochsalzlösung von 37°C erreicht. Wir kontrollierten sie zusätzlich mit einem Thermometer und sorgten dabei durch Rühren für eine gleichmäßige Wärmeaufnahme.

Die Befestigung der Zähne erfolgte mit Kupferzement in eigens dafür geschaffenen Aussparungen des Gefäßdeckels. Dieser bestand wegen der guten isolierenden Eigenschaften des Kunststoffes gegen Temperatureinflüsse jeder Art aus Plexiglas.

Das Thermoelement des inneren Meßkreises fixierten wir mit Hilfe von Klebewachs unter Sichtkontrolle an einer engbegrenzten Stelle am Pulpakammerdach. Die Eichung der Galvanometer ergab für den inneren Meßkreis eine Genauigkeit von $0,06^{\circ}\text{C}$ pro Skalenteil, für den äußeren eine solche von $0,4^{\circ}\text{C}$ pro Skalenteil.

Die Versuchsanordnung II (Abb. 2) zeigt beim Vergleich mit der Versuchsanlage I eine Verbesserung, die auf Grund anderer Versuchsbedingungen möglich wurde. Für diese Anordnung kamen nur unpräparierte bzw. von uns mit okklusalen Amalgamfüllungen oder Inlays versehene Zähne in Frage.

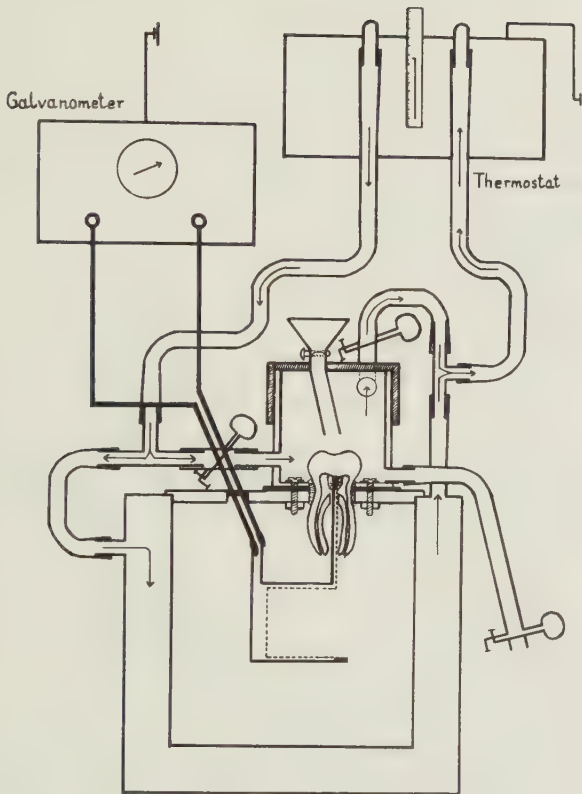


Abb. 2

Versuchsanordnung II zur Messung von Temperaturen am Pulpakammerdach bei Einwirkung von unterschiedlich temperiertem Wasser auf unpräparierte bzw. mit Amalgamfüllungen oder Inlays versehene Zähne.

Es gelang uns, durch das Aufsetzen eines kleinen Kunststoffgefäßes auf den Deckel des doppelwandigen Topfes und seinen Anschluß an das Zu- und Ableitungssystem des Flüssigkeitsthermostaten, den gesamten Zahn annähernd konstant auf der Temperatur von 37°C zu halten. Kurz bevor wir die Versuche an dem jeweiligen Zahn ausführten, unterbanden wir die zu- und abführenden Schläuche des kleinen Behälters mit dem Thermostaten durch Klemmen und öffneten anschließend seinen Abfluß. In demselben Augenblick, wo sich das Wasser entleert hatte, ließen wir eine abgemessene Menge Wasser bestimmter Temperatur in einer genau festgelegten Zeit durch den geöffneten Deckel des kleinen Gefäßes auf den Zahn einwirken. Dieses Wasser floß sofort ab und benetzte nur während der Einwirkungszeit die Zähne, ähnlich wie im Mund beim Trinken. Nach Beendigung dieses Vorganges wurden umgehend die ursprünglichen Versuchsbedingungen wiederhergestellt.

Die Stärke der Unterfüllung und die Stärke der nach der Kavitätenpräparation verbleibenden Dentinschicht ermittelten wir mit Hilfe der "Mahrschen Meßuhr", deren Werte bis auf 0,01 mm genau sind. Dieses Meßinstrument wurde wegen seiner hohen Empfindlichkeit an einem großen, speziell dafür hergestellten Stativ befestigt, das allein durch sein Eigengewicht für einen erschütterungsfreien Stand garantierte (Abb. 3).

Wir korrigierten den Abstand des beweglichen Poles der Meßuhr zum starren Gegenpol solange am Stativ, bis sich beide Pole berührten und der Zeiger des Instrumentes auf Null stand. Die zu messende Schicht des Zahnes wurde zwischen diese beiden Pole gebracht und die entsprechende Stärke am Zeigerausschlag abgelesen. Dabei achteten wir darauf, daß sich der Gegenpol tatsächlich an der Stelle befand, wo das Thermoelement befestigt war. Alle Messungen erfolgten ohne Druck, um ein Eindringen der abgerundeten Meßpole in die Zahnschicht bzw. Unterfüllung und damit eine Fehlmessung zu vermeiden.

Das Volumen V der Zahnfüllungen läßt sich rechnerisch aus der Dichte q und der Masse m gewinnen, wenn beide Größen, im cgs-System gemessen, bekannt sind. Die Dichte q ist nach WESTPHAL

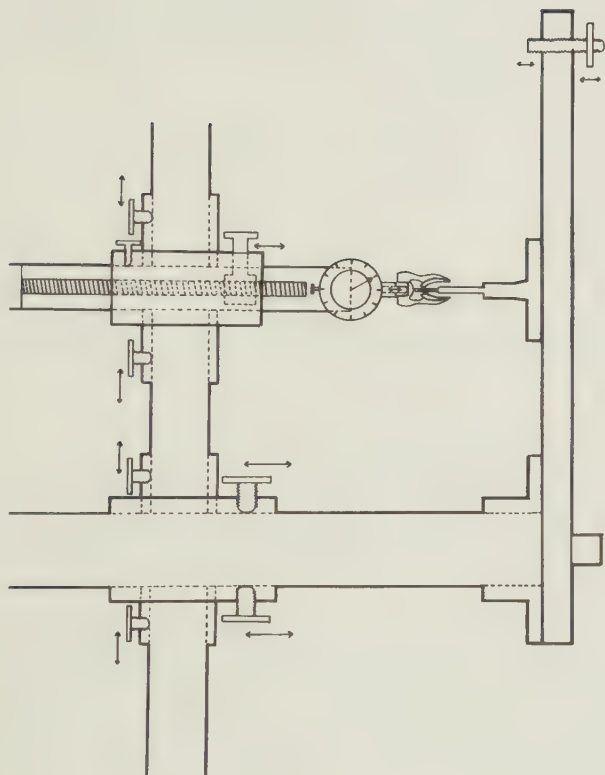


Abb. 3

Das von uns zur Messung der Schichtstärke benutzte Gerät
(Mahrsche Meßuhr)

definiert als der Quotient aus Masse m und Volumen V eines Körpers aus dem betreffenden Stoff.

Wir ermittelten die Masse m , indem wir die präparierten Kavitäten wie bei einem direkten Abdruck mit grünem PREPON-Gußwachs füllten und die Oberfläche entlang der Schlifflächen glätteten. Das Gewicht dieser Wachsabdrücke bestimmten wir mit der "Mettlerschen Analysenwaage" bis zu einer Genauigkeit von 0,01 mg. Der Wert für die Dichte des grünen PREPON-Gußwachses betrug nach Angaben der Farbenfabriken BAYER A.G. $0,95 \text{ g/cm}^3$ bei Zimmertemperatur von 20°C .

III. Untersuchungsergebnisse

1. Untersuchungen an gesunden Front- und Seitenzähnen mit unterschiedlich temperiertem Wasser

Mit diesen Untersuchungen wollten wir feststellen, wie groß die Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach bei gesunden Front- und Seitenzähnen ist, wenn unterschiedlich temperiertes Wasser auf sie einwirkt. Das Wasser sollte dabei die verschiedenen flüssigen Nahrungsmittel und Getränke ersetzen, die wir täglich zu uns nehmen. Nach Messungen von FRIEDMANN werden die in Restaurants angebotenen heißen Getränke im Durchschnitt bei etwa 54°C genossen. Wir wählten bei unseren Versuchen für das Wasser die Temperaturen 55°C , 17°C und $0,5^{\circ}\text{C}$. Das Untersuchungsmaterial bestand aus einem kleinen und einem großen Schneidezahn, einem Eckzahn, Praemolaren und Molaren. Die Wassermenge betrug 20 cm^3 ; das ist etwa die Menge, die man mit einem Schluck zu sich nimmt. Das Wasser wirkte 3 Sek. lang auf die Zähne ein. Diese Zeit war für die Aufnahme eines Schluckes Flüssigkeit gedacht.

Bei einer anderen Versuchsserie ließen wir zweimal, in verschiedenen Zeitabständen aufeinander folgend, 20 cm^3 Wasser von 55°C auf einen gesunden Molaren und einen Eckzahn einwirken. Die Zeitabstände betrugen 60 Sek., 45 Sek., 20 Sek. und 5 Sek.. Alle Untersuchungen wurden nach der Versuchsanordnung II durchgeführt.

Die in der Tabelle 1 angegebenen Versuchsergebnisse lassen deutlich die Abhängigkeit der Temperaturen am Pulpakammerdach von der Größe der Zähne bzw. von der Masse ihrer Hartsubstanzen erkennen. Den Zahlenwerten ist ferner zu entnehmen, daß der Temperaturanstieg bei Wasser von 55°C kleiner ist als der entsprechende Temperaturabfall bei Wasser von $0,5^{\circ}\text{C}$. Die Abb. 4 zeigt den Unterschied der maximalen Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach bei der Einwirkung von 55°C Wasser auf einen Molaren (M), Praemolaren (P) und Eckzahn (E). Der Temperaturanstieg wie auch der Temperaturabfall erfolgt beim Eckzahn wesentlich schneller als beim Molaren bzw. Praemolaren.

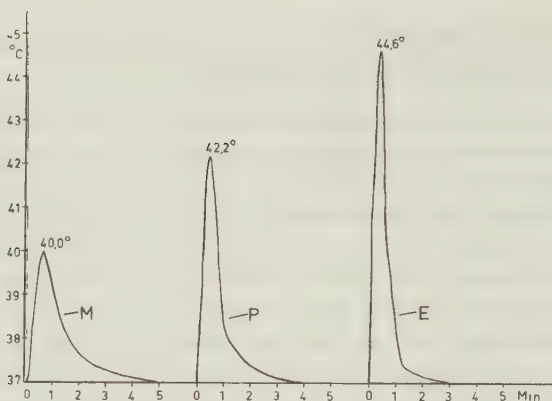


Abb. 4

Maximale Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach nach Einwirkung von 55°C Wasser auf einen gesunden Molaren (M), Praemolaren (P) und Eckzahn (E)

Zahn	Ausg.= temp. in °C	Temperaturen am Pulpakammerdach in °C		
		H ₂ O 55°C	H ₂ O 17°C	H ₂ O 0,5°C
kl. Schneidezahn	37	+ 8,8	- 7,2	- 12,0
gr. Schneidezahn	37	+ 6,4	- 6,0	- 8,8
Eckzahn	37	+ 7,6	- 6,4	- 10,4
Praemolar	37	+ 5,2	- 5,6	- 8,8
Molar	37	+ 3,0	- 2,6	- 4,5

Tabelle 1

Temperaturen am Pulpakammerdach nach Einwirkung von unterschiedlich temperiertem Wasser auf kariesfreie, unpräparierte Zähne

Zahn	Ausg.= temp. in °C	Temp. A in °C	Zeit in Sek.	Temp. B in °C
Molar	37	2,4	60	3,0
	37	2,6	45	3,6
	37	2,6	20	4,6
	37		5	4,7
Eckzahn	37	6,8	60	6,8
	37	6,4	45	7,2
	37	6,4	20	10,0
	37	6,8	5	10,0

Tabelle 2

Temperaturen am Pulpakammerdach nach zweimaliger,
in verschiedenen Zeitabständen aufeinander folgen-
der Einwirkung von 55°C Wasser auf kariesfreie,
unpräparierte Zähne

Temp.A = Temperatur nach einmaligem Einwirken von
55°C Wasser

Temp.B = Temperatur nach abermaligem Einwirken von
55°C Wasser in verschiedenen Zeitabständen

Aus den in der Tabelle 2 wiedergegebenen Versuchsergebnissen ist ersichtlich, daß beim zweiten Einwirken von 55°C Wasser auf einen Molaren oder Eckzahn ein zusätzlicher Temperaturanstieg auftritt. Er liegt um so höher über dem Temperaturwert nach einmaligem Einwirken, je kürzer die Zeit zwischen beiden ist. Bei dem langen Zeitanstand von 60 Sek. fällt die Temperaturkurve zwischen beiden Maxima auf den Ausgangswert. Dabei ist beim Eckzahn keine Temperaturerhöhung gegenüber dem ersten Einwirken zu verzeichnen; beim Molaren ist sie geringfügig. Das läßt sich aus seiner großen Masse an Zahnhartsubstanz erklären; sie gibt die Wärme langsamer ab. Bei einem Zeitschnitt von 5 Sek. ist der im Verlauf der Temperatur-Zeit-Kurven auftretende Absatz zwischen dem ersten und zweiten Einwirken von 55°C Wasser nur noch schwach angedeutet; der Übergang erfolgt fast stufenlos. Beim Eckzahn ist dieses Kurven-

bild nicht so ausgeprägt wie beim Molaren, da er die aufgenommene Wärme wegen seiner geringen Masse an Zahnhartsubstanz wesentlich schneller an die Umgebung abgibt.

Die Abbildung 5 zeigt die maximalen Temperaturwerte am Pulpakammerdach eines gesunden Molaren nach zweimaligem Einwirken von 55°C Wasser im Abstand von 45 Sek. (X_1) und 20 Sek. (X_2); im Vergleich dazu sind die maximalen Temperaturerhöhungen von "CADURIT-P" - auf das später noch genauer eingegangen wird - ohne (C_1) und mit Unterfüllung (C_2) dargestellt.

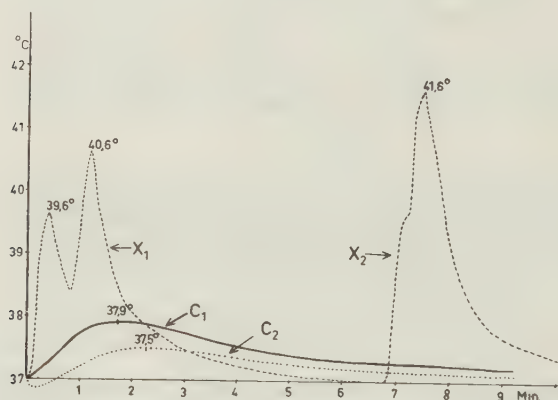


Abb. 5

Maximale Temperaturwerte am Pulpakammerdach eines gesunden Molaren nach zweimaligem Einwirken von 55°C Wasser im Abstand von 45 Sek. (X_1) und 20 Sek. (X_2); im Vergleich dazu maximale Temperaturerhöhungen von "CADURIT-P" ohne (C_1) und mit Unterfüllung (C_2)

2. Untersuchungen über die Abbindewärme schnellhärtender Kunststoffe

Wir prüften die bei der Erhärtung freigesetzte Reaktionswärme folgender Kunststoffe auf eine eventuell schädigende Wirkung für die Pulpa: "CADURIT-P", "PALAVIT 55", "PALAVIT G", "SEVRI=TON SIMPLIFIED" und "SWEDON". Alle Präparate mit Ausnahme des "CADURIT-P" basieren chemisch gesehen auf dem Methylester der Methakrylsäure.

Dem Füllungsmaterial "CADURIT" dienen ungesättigte Polyester als Grundlage, zum Beispiel aus Maleinsäure und Butandiol. Durch Anlagerung von Äthylenimin an die Doppelbindungen erhält man die gewünschten Polyester mit seitständigen Äthylenimino=gruppen. Diese lassen sich durch ihre hohe Polymerisations=tendenz leicht mit sauren Katalysatorensystemen vernetzend polymerisieren.

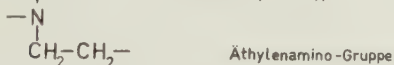
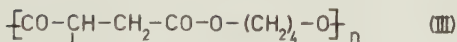
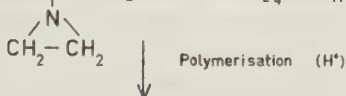
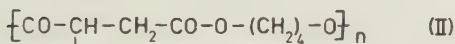
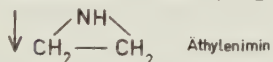
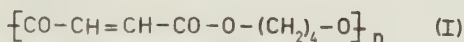


Abb. 6

Das Anmischen von Pulver und Flüssigkeit sowie das Füllen der Kavitäten erfolgte nach den entsprechenden Gebrauchsanweisungen. Um stets das gleiche Mischungsverhältnis von Monomerem und Polymerem zu erreichen, verwendeten wir ausschließlich

die jeweiligen Original-Dosierungsgefäße. Die Reihenfolge der einzelnen Kunststoffe beim Legen der Füllungen wurde gewechselt, um für alle Präparate gleiche Versuchsbedingungen zu schaffen. Es wurde ferner darauf geachtet, daß die Kavitäten sowie die Anrührgefäße trocken waren, da nach CASTAGNOLA schon ein Zusatz von 1 % Wasser zum Gemisch die Polymerisationszeit herabsetzt und die Spitztemperatur in die Höhe treibt. Durch die Möglichkeit, gleichzeitig die Temperaturen am Pulpakammerdach und in der Füllung über einen Zeitraum von 10 Minuten von den Nachlaufschreibern aufzeichnen zu lassen, konnten wir den Temperaturablauf beider Kurven miteinander vergleichen. Die Zimmertemperatur betrug 22°C .

Von den drei schnellhärtenden Kunststoffen "CADURIT-P", "PALAVIT 55" und "SWEDON" weist das "SWEDON mit $1,74^{\circ}\text{C}$ die größte Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach auf. Ihm folgen das "PALAVIT 55" mit $1,14^{\circ}\text{C}$ und das "CADURIT-P", das mit $0,9^{\circ}\text{C}$ den niedrigsten Temperaturwert hat. Alle drei Autopolymerisate besitzen eine für sie charakteristische Temperatur-Zeit-Kurve. Sie sind in der Abbildung 7 für die in der Tabelle 3, Zahn 5, angegebenen jeweiligen größten Temperaturerhöhungen dargestellt. Die dabei besonders beim "PALAVIT 55" und "SWEDON" auftretenden niedrigen Anfangstemperaturen am Pulpakammerdach sind nach MARTIN aus der Tatsache zu erklären, daß die bei Zimmertemperatur angeteigten Monomer-Polymer-Gemische während des Füllens die Umgebung der Kavität und damit auch das Pulpakammerdach unterkühlen. Diese Unterkühlung beträgt nach unseren Messungen beim "PALAVIT 55" im Durchschnitt etwa $0,15^{\circ}\text{C}$, beim "SWEDON" $0,2^{\circ}\text{C}$. Hierbei läßt sich deutlich eine Abhängigkeit der Temperaturerniedrigung von dem Volumen des Füllungsmaterials und der zur Pulpa hin verbleibenden Dentinschicht erkennen. Die Zahlenangaben für die maximalen Temperaturerhöhungen setzen sich somit aus den Werten für die Unterkühlung und den tatsächlichen, auf den Nullpunkt 37°C bezogenen Temperaturerhöhungen zusammen.

Beim "CADURIT-P" konnten wir eine Unterkühlung nur in vereinzelten Fällen beobachten. Dabei blieben die Werte auch hier unter denen der anderen schnellhärtenden Kunststoffe. Das

Kavität	Unter= füllung in mm	Dentin= schicht in mm	Volumen d. Füllmat. in mm ³	Max. Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach in °C			Max. Temperaturerhöhung in der Kavität in °C		
				Cadurit P	Palavit 55	Swedon	Cadurit P	Palavit 55	Swedon
Zahn 1	4,32	1,38	89,6	0,60	0,84	1,50	5,6	9,6	19,2
Zahn 2	0,89	3,66	85,0	0,36	0,48	0,90	5,2	9,0	15,2
Zahn 3	3,40	2,75	50,7	0,36	0,42	0,72	4,8	7,6	11,6
Zahn 4	1,30	2,07	34,8	0,18	0,30	0,66	3,6	6,4	8,0
Zahn 5	----	2,00	112,0	0,90	1,14	1,74	7,2	10,0	25,6
Zahn 6	----	2,85	64,5	0,48	0,60	0,90	5,2	8,4	12,8
Zahn 7	----	2,43	49,8	0,42	0,48	0,84	4,4	7,2	10,0
Zahn 8	----	2,51	32,8	0,24	0,30	0,54	3,2	5,6	8,2

Tabelle 3

Maximale Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach und in der Kavität nach Füllen der Kavitäten mit "CADURIT-P", "PALAVIT 55" und "SWEDON"

"CADURIT-P" polymerisiert so schnell, daß der Temperaturabfall in den meisten Fällen nicht mehr registriert werden konnte.

Die in der Abbildung 7 für die einzelnen Kunststoffe dargestellten Temperatur-Zeit-Kurven sind in ihrem Verlauf, ganz besonders bezüglich der Temperaturmaxima, aber auch der zeitlichen Verschiebung, charakteristisch und traten bei allen Untersuchungen, abgesehen von den absoluten Werten, immer wieder auf.

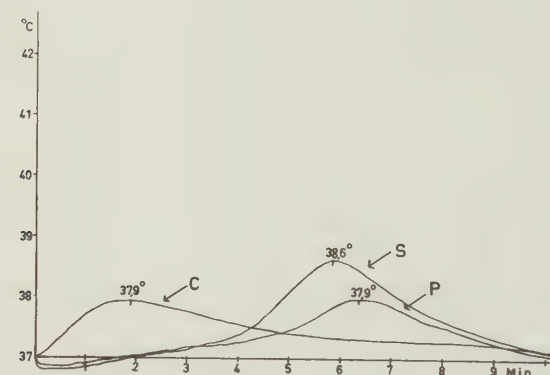


Abb. 7

Maximale Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach von "CADURIT-P" (C), "PALAVIT 55" (P) und "SWEDON" (S)

Die Temperatur-Zeit-Kurve des Füllungsmaterials steigt beim "SWEDON" zunächst langsam an, um ganz plötzlich, in kurzer Zeit, nach etwa 5 Min. 30 Sek., ihr Maximum zu erreichen und dann ebenso plötzlich abzufallen. Beim "PALAVIT 55" läuft diese Kurve bis zur Spitzentemperatur nach 5 Min. 50 Sek. flach an und fällt allmählich ab. Die Temperaturkurve des "CADURIT-P" steigt sofort schnell an und fällt langsam ab, wobei das Maximum nach etwa 1 Min. erreicht wird.

Vergleicht man diese in der Kavität gemessenen Temperatur-Zeit-Kurven des Füllungsmaterials mit den entsprechenden am

Pulpakammerdach registrierten, so fällt deutlich eine zeitliche Verschiebung der Temperaturmaxima auf. Diese Zeitdifferenz, die beim "CADURIT-P" 35 Sek., beim "PALAVIT 55" 25 Sek. und beim "SWEDON" 20 Sek. beträgt, wird für die Wärmeleitung durch die Dentinschicht bzw. Unterfüllung zur Pulpa benötigt. Sie ist, gleiches Volumen und gleiche Dentinstärke vorausgesetzt, um so kürzer, je größer die Spitzentemperatur des Kunststoffes ist.

Die Untersuchungen ergaben außerdem, daß von den in der Kavität auftretenden Temperaturen im Durchschnitt nur etwa $1/15$ zum Pulpakavum gelangt.

Ergänzend muß darauf hingewiesen werden, daß die Temperaturkurven, die sich aus den am Pulpakammerdach gemessenen Temperaturwerten ergaben, nicht zum Ausgangswert zurückkehrten, sondern ein wenig oberhalb davon verliefen. Die Ursache dafür ist in den im allgemeinen Teil der Untersuchungsmethode geschilderten Gründen zu suchen. Durch die Kunststofffüllung - sie ist ein schlechter Wärmeleiter - stellte sich ein neues Temperaturgefälle Pulpakammerdach - Zimmertemperatur ein.

Die schnellhärtenden Kunststoffe "SEVRITON SIMPLIFIED" und "PALAVIT G" (Tabelle 4) bestätigen die allgemein gültigen Ergebnisse über die Beziehungen der auftretenden Temperaturen am Pulpakammerdach zum Volumen des Füllungsmaterials und zu der Dentinschicht. "SEVRITON SIMPLIFIED" weist mit $1,68^{\circ}\text{C}$ im Vergleich zu "PALAVIT G" die größere Temperaturerhöhung auf. Sie wird nach etwa 2 Min. 22 Sek. erreicht und liegt zwischen der des "PALAVIT 55" und des "SWEDON". "PALAVIT 55" und "PALAVIT G" lassen bezüglich ihrer Spitzentemperaturen und im zeitlichen Temperaturablauf keinen wesentlichen Unterschied erkennen.

Die Auswertung einer Reihe von Versuchen, bei denen wir die einzelnen schnellhärtenden Kunststoffe mit Hilfe der Pinseltechnik in die Kavitäten einbrachten, ergab keine wesentlichen Unterschiede zur normalen Fülltechnik. Der für die einzelnen Füllungsmaterialien charakteristische Verlauf der Temperatur-Zeit-Kurven blieb weitgehend erhalten.

Kavität	Unter= füllung in mm	Dentin= schicht in mm	Volumen d.Füllmat. in mm ³	Max.Temperaturerh. am Pulpakammerdach in °C		Max.Temperaturerh. in der Kavität in °C	
				Sevriton	Palavit G	Sevriton	Palavit G
Zahn 1	4,31	1,62	116,0	1,26	0,84	19,6	12,4
Zahn 2	4,55	1,47	75,2	0,72	0,66	11,6	8,8
Zahn 3	3,51	2,55	38,5	0,36	0,30	6,8	4,8
Zahn 4	----	0,85	97,7	1,68	1,26	12,8	9,6
Zahn 5	----	2,40	54,4	0,78	0,60	10,4	7,2
Zahn 6	----	1,22	29,5	0,60	0,36	6,8	4,4
Zahn 7	----	2,11	23,7	0,30	0,24	4,8	3,6

Tabelle 4

Maximale Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach und in der Kavität nach Füllen der Kavitäten mit "SEVRITON SIMPLIFIED" und "PALAVIT G"

3. Untersuchungen über die Abbindewärme von Zahnzementen

Es lag der Gedanke nahe, außer den schnellhärtenden Kunststoffen auch die anderen gebräuchlichen zahnärztlichen Füllungsmaterialien auf eine eventuell schädigende Wirkung ihrer Reaktionswärme für die Pulpa zu untersuchen. Die Mehrzahl dieser Materialien gehört zur Gruppe der Zahnzemente.

Unter Zementen versteht man nach EFFINGER und FECHT anorganische Substanzen, die durch Anrühren von Pulver und Flüssigkeiten über einen plastisch-knetbaren Zustand in eine feste Masse übergehen. Die allgemein gebräuchlichen zahnärztlichen Zemente werden außer einigen Provisorika mit phosphorsauren Lösungen angerührt, mit denen sie unter Wasserabgabe abbinden. Ihre Bestandteile, Pulver und Flüssigkeit, sind chemisch bekannte Stoffe.

Die Ausgangssubstanzen der Zinkoxyd-Phosphatzemente sind das Zinkoxyd (ZnO) und die Orthophosphorsäure (H_3PO_4). Zu diesen Zementen zählen u.a. KUPFERZEMENT und FIXODONT. Im weitesten Sinne kann man auch einen Teil der provisorischen Verschlußzemente dazurechnen; es sind, wie z.B. das PLERODONT, schnellst härtende Phosphatzemente, die u.a. neben Zinkoxyd (ZnO) oft SiO_2 als indifferentes Füllmittel enthalten. Nach FALCK-WEIKART ist die Erhärtung der Zinkoxyd-Phosphatzemente zum Teil von beträchtlicher Wärmeentwicklung begleitet.

Die Klasse der Silikatzemente enthält im Pulver als Hauptbestandteile Quarz (SiO_2) und Aluminiumoxyd (Al_2O_3) (nach EFFINGER und FECHT). In einigen davon, wie z.B. im ACHATIT, findet man 8 - 10 μ dicke Fasern aus besonders präparierten Gläsern, um die Zugfestigkeit zu erhöhen.

Steinzemente stellen eine Komposition von Silikat- und Zinkoxydphosphatzement dar.

Von diesen zahnärztlichen Zahnzementen untersuchten wir KUPFERZEMENT, FIXODONT, PLERODONT, ACHATIT und Steinzement.

Die in der Tabelle 5 angegebenen Versuchsergebnisse zeigen deutlich einen Zusammenhang zwischen den am Pulpakammerdach

auftretenden Temperaturen und dem Volumen des Füllungsmaterials sowie der Dentinschicht.

KUPFERZEMENT weist gegenüber dem FIXODONT die höheren Temperaturwerte auf. Beide wurden im Gegensatz zu den anderen Füllungsmaterialien in einer Schichtstärke von 2,5 mm in die Kavität gebracht, um damit mengenmäßig klinischen Verhältnissen zu entsprechen. Für FIXODONT dürfte diese Schichtstärke noch zu groß sein; sie war jedoch erforderlich, um seine Temperaturwerte mit denen des KUPFERZEMENT vergleichen zu können.

Die Auswertung der Temperatur-Zeit-Kurven ergab, daß beim KUPFERZEMENT das Maximum nach etwa 1 Min.45 Sek. erreicht wird, beim FIXODONT schon nach 45 Sek.. Der Temperaturanstieg erfolgt bei beiden Materialien sehr schnell und klingt allmählich wieder ab.

Vergleicht man die Temperaturwerte von PLERODONT, ACHATIT und Steinzement, so ist ein Unterschied nur bei einer großen Füllmenge und dünner Dentinschicht zu erkennen. Die größte Temperaturerhöhung für PLERODONT beträgt $0,48^{\circ}\text{C}$ nach etwa 1 Min.30 Sek., für ACHATIT $0,54^{\circ}\text{C}$ nach 2 Min. und für Steinzement $0,72^{\circ}\text{C}$ nach 2 Min.15 Sek.. Dieser Unterschied läßt sich dadurch erklären, daß die Spitztemperatur von Steinzement und ACHATIT im Vergleich zum PLERODONT nur sehr langsam sinkt. Der Temperaturanstieg erfolgt bei PLERODONT am schnellsten, beim ACHATIT am langsamsten. Die am Pulpakammerdach gemessene Durchschnittstemperatur der Zahnzemente von $0,41^{\circ}\text{C}$ gleicht größenordnungsmäßig etwa der des "CADURIT-P" von $0,44^{\circ}\text{C}$.

4. Temperaturmessungen bei thermoplastischen provisorischen Verschlußmitteln und thermoplastischen Abdruckmaterialien

Zu den allgemein gebräuchlichen thermoplastischen provisorischen Verschlußmitteln bzw. thermoplastischen Abdruckmaterialien zählen GUTTAPERCHA, DUOPERCHA, KERR und PREPON-Gußwachs.

Nach HAIM wird GUTTAPERCHA bei 48°C weich und knetbar, bei 110°C - 120°C schmilzt sie, und oberhalb 150°C tritt Zersetzung ein. Die eigentlichen plastischen Abformmaterialien, wie z.B.

Kavität	Füllungsmaterial	Dentin= schicht in mm	Volumen d. Füllmat. in mm ³	Max. Temp. am Pulpakammerd. in °C	Max. Temp. in der Kavität in °C
Zahn 1	Fixodont	1,60	x)	0,18	4,0
	Kupferzement		x)	0,30	3,6
	Plerodont		122,6	0,48	5,2
	Achatit			0,54	5,0
	Steinzement			0,72	6,0
Zahn 2	Fixodont	2,16	x)	0,12	2,0
	Kupferzement		x)	0,18	3,2
	Plerodont		88,4	0,24	4,4
	Achatit			0,24	4,4
	Steinzement			0,24	4,4

Tabelle 5

Maximale Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach und in der Kavität nach Füllen der Kavitäten mit FIXODONT, KUPFERZEMENT, PLERODONT, ACHATIT und Steinzement

x) FIXODONT und KUPFERZEMENT wurden in einer Schichtstärke von 2,5 mm eingebracht

das KERR, sind Kompositionsmassen aus verschiedenen Stoffen. Sie bestehen u.a. aus Harzen, Stearinsäure, verschiedenen Wachsarten und Talkum. Zur Verarbeitung werden sie bei einer Temperatur von etwa $65^{\circ}\text{--}70^{\circ}\text{C}$ erweicht. Nach REHBERG ist es für das Inlay-Wachs, das hauptsächlich aus Paraffin und Kunstwachs besteht, besonders wichtig, daß sein Erweichungspunkt bzw. Schmelzpunkt nicht zu hoch über der Körpertemperatur liegt, da sonst schmerzhaft Sensationen von seiten der Pulpa beim Einbringen des heißen Wachses in die Zahnkavität ausgelöst werden.

Alle genannten Materialien werden also zur Verarbeitung bei relativ hohen Temperaturen erweicht. Um uns auch bei diesen Versuchen möglichst an die klinischen Gegebenheiten zu halten, prüften wir die Temperaturen der einzelnen Materialien, mit Ausnahme des heißen "flüssigen" Wachses, vor dem Einbringen in die Zahnkavität am Handrücken auf ihre Verträglichkeit.

Die Versuche (Tabelle 6) haben ergeben, daß das in flüssiger Form in die Kavität gebrachte grüne PREPON-Gußwachs die größten Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach aufweist. Sie sind gegenüber den Werten für das in plastischem Zustand in die Kavität gedrückte Wachs in der Mehrzahl fast dreimal so groß. Die Temperatur des eingetropften Wachses lag im Durchschnitt bei etwa $62,5^{\circ}\text{C}$; der hierbei von uns ermittelte höchste Wert am Pulpakammerdach betrug $4,08^{\circ}\text{C}$. Das in plastischem Zustand eingebrachte PREPON-Gußwachs erreicht dagegen nur eine Spitzentemperatur von $1,74^{\circ}\text{C}$.

Den in der Tabelle 6 angegebenen Versuchsergebnissen ist weiterhin zu entnehmen, daß die maximalen Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach, die durch KERR, GUTTAPERCHA und DUOPERCHA hervorgerufen werden, keinen wesentlichen Unterschied aufweisen. Ihre Spitzentemperaturen liegen bei $2,80^{\circ}\text{C}$. Daraus läßt sich schließen, daß die Temperaturwerte in der Kavität bei diesen drei Materialien ebenfalls annähernd gleich gewesen sein müssen.

Die Temperatur-Zeit-Kurven steigen bei allen genannten Erzeugnissen fast steil zu den Gipfelpunkten an und fallen langsam

Kavität	Unter= füllung in mm	Dentin= schicht in mm	Volumen d. Füllmat in mm ³	Max. Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach in °C			
				Wachs(flüss.)	Wachs(fest)	Kerr	Duopercha
Zahn 1	4,31	1,62	116,0	3,10	0,84	1,08	1,56
Zahn 2	4,55	1,47	75,2	1,68	0,78	1,08	0,94
Zahn 3	3,51	2,55	38,5	1,50	0,60	0,90	0,84
Zahn 4	----	0,85	97,7	4,08	1,74	2,70	2,82
Zahn 5	----	2,40	54,4	2,46	0,72	1,02	1,20
Zahn 6	----	1,22	29,5	2,28	0,70	0,90	0,93
Zahn 7	----	2,11	23,7	1,26	0,48	0,78	0,78

Tabelle 6

Maximale Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach nach Füllen der Kavitäten mit PREPON-Gußwachs (flüssig und fest), KERR, GUTTAPERCHA und DUOPERCHA

wieder ab. Die Maxima werden im Durchschnitt nach etwa 1 Min. erreicht. Bei allen Versuchen war wiederum deutlich die Abhängigkeit der Temperatur am Pulpakammerdach vom Volumen des Füllungsmaterials und von der Stärke der verbleibenden Dentinaus- schicht zu erkennen.

5. Temperaturmessungen beim Finieren und Polieren von Amalgam- und Goldgußfüllungen

Es ist allgemein bekannt, daß durch Polieren eine Verbesserung der Eigenschaften des betreffenden Füllungsmaterials erreicht werden kann. Nach FALCK-WEIKART bezweckt es eine Materialveredelung, eine Steigerung der Haltbarkeit. JUNG weist darauf hin, daß an den Berührungspunkten mit dem Polierkorn örtlich begrenzt Temperaturen bis 1000°C auftreten können. Diese intensive Erhitzung bleibt seiner Meinung nach meist auf eine außerordentlich dünne und kleine Zone beschränkt, so daß die Masse des Stoffes mehr oder weniger kalt erscheinen kann.

Wir bearbeiteten Amalgam- und Goldgußfüllungen zunächst mit Stahlfinierern unter Verwendung der Dental-Turbine und der schnurgetriebenen Bohrmaschine. Anschließend polierten wir diese Füllungen mit Schlag- und Kugelpolierern sowie mit verschiedenen Gummipolierern und registrierten die dabei am Pulpakammerdach auftretenden Temperaturen. Auch bei diesen Versuchen bemühten wir uns durch intermittierende Arbeitsweise, den klinischen Bedingungen so weit wie möglich Rechnung zu tragen. Es wurden die in der Tabelle 7 angegebenen Amalgam- und Goldgußfüllungen der Zähne 1 - 7 finiert und poliert. Wir verwendeten für die Turbine kugelförmige ELA-F.G.-Finierer von 1,7 mm $\varnothing$ und für die schnurgetriebene Bohrmaschine solche von 2,3 mm $\varnothing$.

Die Versuchsergebnisse zeigten, daß unter den genannten Bedingungen beim Finieren mit der Dental-Turbine keine Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach auftreten, weder bei Wasserspraytemperaturen von 27°C noch von 30°C ; es war vielmehr ein leichtes Absinken der Temperatur zu beobachten. Verwendet man Spray oder Luft von 20°C als Kühlmittel, so sinkt die Tempe-

ratur bis zu $2,8^{\circ}\text{C}$ bzw. $2,0^{\circ}\text{C}$ unter den Ausgangswert von 37°C . Im Gegensatz dazu war beim Finieren mit der schnurgetriebenen Bohrmaschine ohne Spraykühlung ein leichter Temperaturanstieg zu verzeichnen. Er betrug im Durchschnitt etwa $0,5^{\circ}\text{C}$. Beim Polieren mit Schlag- und Kugelpolierern ($2,3\text{ mm}\varnothing$) trat eine maximale Temperaturerhöhung von $0,4^{\circ}\text{C}$ auf.

Für die Politur der Füllungen mit Gummipolierern wählten wir aus einer Mustersendung der Firma BECHT, der wir an dieser Stelle für die Überlassung dieser Muster danken möchten, folgende Formen und Größen aus: rotes Rad ($19\text{ mm}\varnothing$), rote Linse ($19\text{ mm}\varnothing$), blaue Linse ($19\text{ mm}\varnothing$), blauer Kegel, roter Kegel, graues Rad ($22\text{ mm}\varnothing$), weiße Linse ($10\text{ mm}\varnothing$), weißer Kelch und Universal-Polierer ($21\text{ mm}\varnothing$). Die "weiße Linse" und den "weißen Kelch" benutzten wir zusammen mit Schlämmkreide. Der Universal-Polierer unterscheidet sich nach Angaben der Firma BECHT von allen anderen Gummipolierern dadurch, daß an Stelle von Naturgummi als Bindemittel Silikon-Kautschuk verwendet wurde; er besitzt ferner eine Zentrumsverstärkung, die einen gleichmäßigen Lauf und Abrieb gewährleisten soll. Der Universal-Polierer wird ohne Druckanwendung gebraucht; dadurch soll es zu keiner Wärme- bzw. Hitzeentwicklung kommen.

Wir ermittelten durch die Versuche, bei denen die Politur mit den genannten Gummipolierern in trockenem Milieu ausgeführt wurde, folgende Durchschnittswerte bezüglich der maximalen Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach:

rotes Rad	$3,4^{\circ}\text{C}$
blaue Linse	$2,8^{\circ}\text{C}$
rote Linse	$2,4^{\circ}\text{C}$
blauer Kegel	$2,0^{\circ}\text{C}$
roter Kegel	$2,0^{\circ}\text{C}$
graues Rad	$1,6^{\circ}\text{C}$
weiße Linse	$1,2^{\circ}\text{C}$
weißer Kelch	$1,2^{\circ}\text{C}$
Universal-Polierer	$0,6^{\circ}\text{C}$

Bei nasser Politur der Amalgam- und Goldgußfüllungen mit der "weißen Linse" oder dem "weißen Kelch" und Schlämmkreide

konnte keine Temperaturerhöhung festgestellt werden; es war vielmehr ein leichtes Absinken der Temperatur unter den Ausgangswert zu verzeichnen. Der Grund dafür dürfte wohl hauptsächlich das feuchte Milieu der Schlämmkreide sein; sie wurde mit Wasser von 19°C angerührt.

6. Untersuchungen an gefüllten Zähnen mit unterschiedlich temperiertem Wasser

Es ist allgemein bekannt, daß Wärmereize, ganz besonders aber Kältereize an Zähnen mit Amalgam- oder Goldgußfüllungen gegenüber ungefüllten gesunden Zähnen vermehrt Schmerzempfindungen auslösen. Wir untersuchten die dabei am Pulpakammerdach auftretenden Temperaturen. Die Untersuchungen erfolgten unter den gleichen Bedingungen wie die Versuche an gesunden Front- und Seitenzähnen. Als Wärme- bzw. Kälteinsulte diente uns wieder Wasser von 55°C , 17°C und $0,5^{\circ}\text{C}$.

Die in der Tabelle 7 angegebenen Versuchsergebnisse zeigen auch hier deutlich die Abhängigkeit der Temperaturen am Pulpakammerdach von dem Volumen des Füllungsmaterials und von der verbleibenden Dentinschicht. Wie bei den Untersuchungen mit gesunden Zähnen sind die gemessenen Temperaturwerte nach Einwirkung von 55°C Wasser kleiner als die bei $0,5^{\circ}\text{C}$. Dagegen liegen die Temperaturen der mit Amalgam- oder Goldgußfüllungen versehenen Molaren gegenüber den gesunden ungefüllten bei der Einwirkung des unterschiedlich temperierten Wassers im Durchschnitt höher. Die höchsten Temperaturen wurden an einem Molaren mit einer Amalgamfüllung von $111,2 \text{ mm}^3$ und einer Dentinschicht von $1,68 \text{ mm}$ gemessen. Sie betrugen bei Einwirkung von 55°C Wasser $+4,8^{\circ}\text{C}$, bei 17°C Wasser $-5,2^{\circ}\text{C}$ und bei $0,5^{\circ}\text{C}$ Wasser $-8,8^{\circ}\text{C}$.

Im Gegensatz zu allen vorangegangenen Versuchen hatten wir Zahn 8 in der Tabelle 7 für die Messung besonders präpariert. Diese spezielle Präparation bestand darin, daß wir zusätzlich zu dem einen Zugang zum Pulpakammerdach noch einen zweiten schafften und die Stärke der Dentinschicht an dieser Stelle verringerten. Damit hatten wir die Möglichkeit, die bei gleichem Volumen, aber unterschiedlicher Dentinschicht auftreten-

Kavität= Füllungs= material	Unter= füllung in mm	Dentin= schicht in mm	Volumen d. Füllmat. in mm ³	Ausg.= temp. in °C	Temperaturen am Pulpakammerdach in °C		
					H ₂ O 55°C	H ₂ O 17°C	H ₂ O 1/2°C
Zahn 1 Amalgam	----	2,82	151,3	37	+ 4,0	-4,8	-6,8
Zahn 2 Amalgam	----	2,25	92,4	37	+ 2,8	-2,8	-4,8
Zahn 3 Amalgam	----	1,85	59,2	37	+ 2,4	-2,4	-4,0
Zahn 4 Amalgam	1,00	2,65	112,5	37	+ 2,8	-3,2	-4,8
Zahn 5 Amalgam	1,47	1,68	111,2	37	+ 4,8	-5,2	-8,8
Zahn 6 Amalgam	1,20	0,88	72,0	37	+ 4,4	-4,8	-6,8
Zahn 7 Inlay	1,50	2,65	67,1	37	+ 2,0	-2,0	-3,2
Zahn 8 Inlay	----	3,36	77,4	37	+ 2,0	-2,1	-3,6
	----	0,76		37	+ 4,8	-4,0	-6,8

Tabelle 7

Temperaturen am Pulpakammerdach nach Einwirkung von unterschiedlich
temperiertem Wasser auf Amalgamfüllungen und Inlays

den Temperaturen zu messen. Die Ergebnisse zeigen, daß die Temperaturen mit zunehmender Stärke der Dentinschicht kleiner werden.

7. Temperaturmessungen bei der Präparation von okklusalen Kavitäten mit der Dental-Turbine und der schnurgetriebenen Bohrmaschine

Zu der Frage, ob das hoch- und höchsttourige Bohren und Schleifen zu thermischen Schädigungen des Zahnmarkes führt, liegen zahlreiche Veröffentlichungen vor. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen weichen jedoch zum Teil erheblich voneinander ab. Nach KLOS und ROTTKE ist bei der Beantwortung dieser Fragestellung die Tatsache von größter Wichtigkeit, welche Temperaturerhöhungen in der Pulpa selbst auftreten, deren peripherster Teil, die Odontoblastenzone, wegen seiner hohen Differenzierung sehr empfindlich ist und am ehesten eine Wärmeschädigung erleiden kann.

Wie schon eingangs betont wurde, führten wir zu diesem Thema eigene Versuche durch, um eine Vergleichsmöglichkeit mit den Ergebnissen unserer anderen Untersuchungen zu haben.

Für diese Untersuchungen, die wir nach der Versuchsanordnung I durchführten, verwendeten wir kariesfreie Molaren. Die Präparation der okklusalen Kavitäten erfolgte ähnlich wie die unter klinischen Bedingungen in intermittierender Arbeitsweise. Sie wurde mit einem Rosenbohrer begonnen und mit einem zylindrischen Diamanten beendet. Wir wählten für die luftgetriebene Turbine einen Rosenbohrer von 1,1 mm $\varnothing$ und einen zylindrischen Diamanten von 1,2 mm $\varnothing$, für das Winkelstück der schnurgetriebenen Bohrmaschine einen Rosenbohrer von 1,9 mm und einen zylindrischen Diamanten von 1,5 mm $\varnothing$. Die Drehzahl der schnurgetriebenen Bohrmaschine wurde den jeweiligen Anforderungen bei der Präparation angepaßt. Da die Temperatur der Sprayflüssigkeit bei der Turbine über einen größeren Zeitraum nicht konstant blieb, kontrollierten wir sie in kurzen Zeitabständen mit einem Thermometer am Kopf der Bohr- bzw. Schleifinstrumente.

Alle Versuchsergebnisse zeigten übereinstimmend, daß bei der Benutzung des zylindrischen Diamanten im Vergleich zum Rosenbohrer stets die höheren Temperaturen auftreten, sowohl bei der Dental-Turbine als auch bei der schnurgetriebenen Bohrmaschine. Die Temperaturwerte waren abhängig von dem jeweiligen Abstand des Kavitätenbodens zum Pulpakavum und der Temperatur des Kühlmittels. Wir konnten ferner feststellen, daß die Temperaturwerte bei Verwendung der schnurgetriebenen Bohrmaschine ohne Spraykühlung höher liegen als die bei der luftgetriebenen Turbine mit Wasserspraykühlung.

Bei Anwendung des relativ kalten Sprays von 19°C registrierten wir am Pulpakammerdach für den Rosenbohrer eine maximale Abkühlung von $4,0^{\circ}\text{C}$, für den Diamanten eine von $3,2^{\circ}\text{C}$. Die Stärke der verbliebenen Dentinschicht betrug $3,23\text{ mm}$. Verwendeten wir Spray von 25°C , so sank die Temperatur bei der Präparation mit dem Rosenbohrer um $1,2^{\circ}\text{C}$, bei der mit dem Diamanten stieg sie um $0,8^{\circ}\text{C}$ über den Ausgangswert. Der Abstand des Kavitätenbodens zum Pulpakavum betrug $1,17\text{ mm}$. Bei der Wasserspraytemperatur von 36°C und der Dentinschicht von $1,45\text{ mm}$ ergab sich für den Rosenbohrer eine Temperaturerhöhung von $2,8^{\circ}\text{C}$, für den Diamanten eine von $5,2^{\circ}\text{C}$. Aus den verschiedenen Temperaturen des Sprays ermittelten wir schließlich eine Temperatur, bei der für den Bohrer als auch für den Diamanten nur ganz geringfügige Temperaturschwankungen um den Ausgangswert 37°C auftraten. Diese Temperatur betrug $28,5^{\circ}\text{C}$.

Im Vergleich zu diesen Werten ergaben sich bei der Verwendung der schnurgetriebenen Bohrmaschine ohne Spraykühlung maximale Temperaturerhöhungen von $3,2^{\circ}\text{C}$ für den Rosenbohrer und von $5,8^{\circ}\text{C}$ für den Diamanten. Bei allen Versuchen wurden die Spitzentemperaturen erst kurz nach dem Beenden des Bohr- und Schleifvorganges erreicht. Der Grund dafür ist in der schlechten Wärmeleitung der Zahnhartsubstanzen zu suchen.

Wir konnten ferner an Hand der Versuchsergebnisse feststellen, daß bei der Turbinenpräparation unter Anwendung von Luft als Kühlmittel überwiegend Temperaturerhöhungen auftreten. Dabei registrierten wir bei der Dentinschicht von $1,1\text{ mm}$ für den

Diamanten die Temperatur von $7,6^{\circ}\text{C}$ und für den Rosenbohrer die von $3,2^{\circ}\text{C}$.

Wir verzichteten auf weitergehende Versuche, da unsere Resultate mit den Ergebnissen wesentlich umfangreicherer Untersuchungen anderer Autoren, wie HOFMANN, STÜBEN und HOPPE, insbesondere KLOS und ROTTKE, gut übereinstimmen und nur zum Vergleich mit den ermittelten Werten unserer anderen Experimente dienen sollten.

IV. Diskussion der Ergebnisse

Unsere Aufgabe bestand zunächst darin festzustellen, welche Temperaturen auf das Zahnmark schädigend wirken können. Sicher ist, daß sehr hohe Temperaturen eine Pulpaschädigung hervorruufen. Schwieriger dagegen wird die Beurteilung bei Temperaturen, die nur um einige Grade über der normalen Körpertemperatur liegen. Wir fällten deshalb unser Urteil darüber, ob eine Temperatur als schädigend anzusehen ist, im Vergleich zu den Ergebnissen unserer Untersuchungen an Front- und Seitenzähnen mit Wasser von 55°C . Bei einmaligem Einwirken dieses Wassers auf einen gesunden kleinen Schneidezahn betrug die maximale Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach $8,8^{\circ}\text{C}$, beim Molaren $3,0^{\circ}\text{C}$, dazwischen lagen die Werte für den Eckzahn und den Praemolaren. Wenn die Temperaturwerte unserer anderen Untersuchungen zeitlich und in ihrer Höhe in diesem "physiologischen Bereich" lagen, ist eine Schädigung der Pulpa u.E. unwahrscheinlich.

Unsere Untersuchungen mit verschiedenen Füllungs- und Abdruckmaterialien ergaben zunächst ganz allgemein eine Abhängigkeit des Temperaturanstieges am Pulpakammerdach von der Art des Füllungsmaterials sowie vom Volumen der Füllung. Außerdem spielte die Stärke der Dentinschicht zwischen Kavitätenboden und Pulpa bezüglich des Temperaturverlaufes eine entscheidende Rolle. Je dicker die Dentinschicht bzw. je flacher die Kavität war, um so geringer waren die Temperaturerhöhungen. Aber nicht nur die Dentinschicht wirkt wärmeisolierend, sondern auch bei einer Phosphatzementschicht als Unterfüllung läßt sich eine solche isolierende Wirkung feststellen, die jedoch geringer ist als die des Dentins. Danach gelangt also eine bestimmte Wärmemenge durch eine Phosphatzementschicht schneller an das Zahnmark als durch eine entsprechend dicke Dentinschicht. Dieses Ergebnis stimmt mit den Untersuchungen von STÜBEN überein, der folgende Werte für die Wärmeleitfähigkeiten der Zahnhartsubstanzen und einiger zahnärztlicher Zemente angibt:

Schmelz	1,76 ($\pm$ 0,12)
Dentin	1,87 ($\pm$ 0,12)
Phosphatzement, normalhärtend, dünn angerührt	4,6 ($\pm$ 0,5)
Phosphatzement, normalhärtend, dick angerührt	4,1 ($\pm$ 0,6)
Phosphatzement, schnellhärtend	3,9 ($\pm$ 0,8)

Wärmeleitfähigkeiten angegeben in $10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}}$

Nicht nur zwischen den Zahnzementen, Kunststoffen und thermo=plastischen provisorischen Verschußmitteln, sondern auch zwischen den einzelnen Fabrikaten ein und desselben Füllungsmaterials ließen sich Unterschiede feststellen. So konnten wir z.B. bei den schnellhärtenden Kunststoffen bezüglich der maximalen Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach eine bestimmte Reihenfolge erkennen. Die kleinste Temperaturerhöhung zeigte das "CADURIT-P" mit $0,9^\circ\text{C}$. Ihm folgten das "PALAVIT 55" mit $1,14^\circ\text{C}$ und das "PALAVIT G" mit $1,26^\circ\text{C}$. Die höchsten Temperaturen fanden wir beim "SEVRITON SIMPLIFIED" mit $1,68^\circ\text{C}$ und "SWEDON" mit $1,74^\circ\text{C}$. Diese Reihenfolge ergibt sich auch aus den Werten für die maximalen Temperaturerhöhungen in der Kavität. Die von uns für das "PALAVIT 55" ermittelten maximalen Temperaturwerte am Pulpakammerdach stimmen mit den Ergebnissen von MARTIN weitgehend überein. Er fand einen Temperaturanstieg von $1,2^\circ\text{C}$.

Unsere Untersuchungen mit schnellhärtenden Kunststoffen ließen sich bei der von uns gewählten Versuchsanordnung (Abb. 1) nur an zentralen Kavitäten von Molaren durchführen. Da die schnellhärtenden Kunststoffe zumeist für approximale Defekte der Frontzähne Verwendung finden, bei denen die Dentinschicht zur Pulpa hin im allgemeinen gering ist, erhebt sich die Frage, ob unsere Ergebnisse auf diesen Kavitätentyp ohne weiteres übertragen werden dürfen. Wie wir sahen, spielt aber nicht nur die Stärke der Dentinschicht, sondern auch das Volumen des Füllungsmaterials eine große Rolle. Dieses ist jedoch bei approximalen Kavitäten der Frontzähne meistens relativ klein, so daß wir wohl mit Recht annehmen können, daß die Spitzentem=

peraturen am Pulpakammerdach bei diesen Füllungen kaum größer sind als bei unseren Untersuchungen an zentralen okklusalen Kavitäten von Molaren. Die Ergebnisse von MARTIN bestätigen diese Annahme. Er ermittelte für das "PALAVIT" bei approximalen Frontzahnkavitäten im Pulpakavum eine maximale Temperaturerhöhung von $1,1^{\circ}\text{C}$.

Eine irreversible Schädigung des Zahnmarkes ist also durch die beim Abbindevorgang der schnellhärtenden Kunststoffe am Pulpakammerdach auftretenden geringen Temperaturerhöhungen nicht zu erwarten, zumal die Spitzentemperatur nur wenige Sekunden bestehen bleibt. Diese Ansicht vertreten u.a. auch CASTAGNOLA und v.ARX sowie KLUCZKA und MARTIN.

Die bei den Zahnzementen FIXODONT, KUPFERZEMENT, PLERODONT, ACHATIT und Steinzement ermittelten Temperaturen werden ebenfalls keine Pulpaschädigung hervorrufen. Sie lagen noch unter denen des "CADURIT-P". Der Steinzement erreichte aus dieser Gruppe mit $0,72^{\circ}\text{C}$ die größte Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach. Für das FIXODONT dürften die angegebenen Werte noch zu hoch liegen, da es als Kronen- und Brückenzement nur in sehr dünner Schicht Verwendung findet, also dünner als bei unseren Versuchen appliziert wird.

Bei den thermoplastischen provisorischen Verschlußmitteln und thermoplastischen Abdruckmaterialien ermittelten wir von allen untersuchten Materialien die höchsten Temperaturwerte. Während beim grünen PREPON-Gußwachs, wenn es in flüssiger Form in die Kavität gebracht wurde, der Temperaturanstieg am Pulpakammerdach maximal $4,08^{\circ}\text{C}$ betrug, lagen die Temperaturwerte des in plastischem Zustand in die Kavität gebrachten Gußwachses größenordnungsmäßig bei denen des "SWEDON". Es empfiehlt sich demnach, abgesehen von anderen Gründen, das Wachs bei der direkten Abdruckmethode nur im plastischen Zustand zu verwenden. KERR, GUTTAPERCHA und DUOPERCHA zeigen bezüglich der maximalen Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach keinen nennenswerten Unterschied. Ihre Spitzentemperaturen lagen, wenn keine überhitzten Materialien verwendet wurden, bei $2,80^{\circ}\text{C}$.

PAULY gibt sowohl für das PREPON-Gußwachs als auch für KERR

und GUTTAPERCHA wesentlich höhere Temperaturwerte an. Der Grund dafür dürfte darin zu sehen sein, daß er die genannten Materialien bei weit höherer, in der Praxis nicht üblichen Temperatur in die Kavität brachte. Nach seinen Angaben betrug sie für GUTTAPERCHA durchschnittlich 116°C , eine Temperatur, bei der nach HAIM GUTTAPERCHA aber schon schmilzt.

Unsere Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß bei den thermoplastischen provisorischen Verschlußmitteln und thermoplastischen Abdruckmaterialien, wenn sie nicht überhitzt werden, eine irreversible Schädigung der Pulpa nicht zu erwarten ist, zumal die Spitztemperatur nur kurze Zeit einwirkt.

Die ermittelten Ergebnisse beim Finieren von Amalgam- und Goldgußfüllungen zeigen, daß die Temperatur am Pulpakammerdach bei der Verwendung der luftgetriebenen Turbine nicht ansteigt, sondern abfällt, gleichgültig ob Spray oder Luft als Kühlmittel benutzt wird. Dagegen war beim Finieren mit der schnurgetriebenen Bohrmaschine eine leichte Temperaturerhöhung zu verzeichnen. Diese Temperaturerhöhung, die darauf zurückzuführen ist, daß keine Kühlung erfolgte, liegt aber noch in vertretbaren Grenzen.

Soll die Politur der Füllungen mit Gummipolierern durchgeführt werden, empfiehlt es sich, eine "weiße Linse" oder einen "weißen Kelch" zusammen mit Schlammkreide zu benutzen. Bei dieser Politur konnten wir bei unseren Untersuchungen keine Temperaturerhöhung feststellen. Der Grund dafür dürfte hauptsächlich das feuchte Milieu der Schlammkreide sein. Ohne Schlammkreide entstanden entsprechend der Härte und Form der einzelnen Gummipolierer zum Teil recht beträchtliche Spitztemperaturen, die aber bei intermittierender Arbeitsweise nur kurzfristig zur Wirkung kamen. Eine Schädigung der Pulpa ist bei dieser Arbeitsweise nicht zu erwarten, bei unsachgemäßer, zu langer Anwendung jedoch nicht auszuschließen.

Vergleichen wir unsere oben beschriebenen Untersuchungen mit den Meßergebnissen bei der Präparation von okklusalen Kavitäten, so ergibt sich, daß die Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach bei der Präparation mit der schnurgetriebenen Bohrma-

schine ohne Kühlmittel und der Turbinenpräparation mit Luftkühlung größer sind als bei den verschiedenen Füllungs- und Abdruckmaterialien. Bei der Dental-Turbine betrugen sie für den zylindrischen Diamanten maximal $7,6^{\circ}\text{C}$, für den Rosenbohrer $3,2^{\circ}\text{C}$. Diese Temperaturwerte werden, wie schon oben angedeutet wurde, bei der Turbinenpräparation mit Luft als Kühlmittel erzielt. Bei der Verwendung des Wassersprays konnten wir keine Temperaturerhöhung am Pulpakammerdach registrieren, selbst nicht bei einer Spraytemperatur von $28,5^{\circ}\text{C}$. Unsere Versuchsergebnisse stimmen mit den von HOFMANN, KLOS und ROTTKE sowie STÜBEN und HOPPE überein.

Da auch die bei der Präparation erzielten Temperaturwerte zeitlich und in ihrer Höhe innerhalb des von uns ermittelten "physiologischen Bereiches" liegen, ist bei intermittierender Arbeitsweise u.E. eine Schädigung der Pulpa durch thermische Reize unwahrscheinlich. Dagegen kann bei kontinuierlicher Arbeitsweise selbst bei der Benutzung des Wassersprays eine Schädigung des Zahnmarkes nicht ausgeschlossen werden, da bei einem "schachtartigen Vorarbeiten" (HOFMANN) in die Zahnhartsubstanzen, also bei engen Bohrkanälen, zu wenig Kühlmittel an die Stelle der Wärmeentwicklung gelangt.

Obwohl experimentell an pulpatoten Zähnen gewonnene Untersuchungsergebnisse sich immer nur bis zu einem gewissen Grad auf die natürlichen Verhältnisse im Mund übertragen lassen, so glauben wir doch auf Grund unserer Versuche und der zuvor angestellten Überlegungen sagen zu können, daß unter den genannten Bedingungen eine irreversible, thermische Schädigung der Pulpa durch die Applikation der angeführten zahnärztlichen Füllungs- und Abdruckmaterialien sowie bei der Turbinenpräparation unter Benutzung des Wassersprays unwahrscheinlich ist.

C. Zusammenfassung

Viele zahnärztliche Maßnahmen gehen mit Wärmeentwicklung einher, wobei nicht nur an das hoch- und höchsttourige Bohren und Schleifen zu denken ist, sondern auch an die Abbindewärme verschiedener Füllungsmaterialien, die Applikation thermoplastischer provisorischer Verschlusmittel und thermoplastischer Abdruckmaterialien sowie an die bei der Politur von Amalgam- und Goldgußfüllungen auftretenden Temperaturen.

Zur Feststellung der bei diesen Maßnahmen entstehenden Temperaturen führten wir thermometrische Untersuchungen am Pulpakammerdach extrahierter Zähne durch. Bei der Beurteilung, ob die dabei gefundenen Werte schädigend für das Zahnmark wirken können, gingen wir von der Überlegung aus, daß Temperaturen, die normalerweise bei der Nahrungsaufnahme zu verzeichnen sind, keine Schädigung hervorrufen dürften. Wir führten deshalb Untersuchungen an gesunden Front- und Seitenzähnen mit Wasser von 55°C durch und registrierten dabei am Pulpakammerdach eines kleinen Schneidezahnes eine maximale Temperaturerhöhung von $8,8^{\circ}\text{C}$, während sie beim Molaren $3,0^{\circ}\text{C}$ betrug; zwischen diesen Werten lagen die Meßergebnisse für den Eckzahn und den Praemolaren.

Unsere Untersuchungen mit verschiedenen Füllungs- und Abdruckmaterialien ergaben zunächst ganz allgemein eine Abhängigkeit des Temperaturanstieges am Pulpakammerdach von der Art des Füllungsmaterials sowie vom Volumen der Füllung. Außerdem spielte die Stärke der Dentinschicht zwischen Kavitätenboden und Pulpa bezüglich des Temperaturverlaufes eine entscheidende Rolle. Auch Unterfüllungen mit Phosphatzement besaßen eine wärmeisolierende Wirkung, die jedoch geringer war als die des Dentins.

Bei den schnellhärtenden Kunststoffen "CADURIT-P", "PALAVIT 55", "PALAVIT G", "SEVRITON SIMPLIFIED" und "SWEDON" schwankten die maximalen Temperaturerhöhungen am Pulpakammerdach zwischen $0,9^{\circ}\text{C}$ beim "CADURIT-P" und $1,74^{\circ}\text{C}$ beim "SWEDON".

Für die Zahnzemente ergaben sich maximale Temperaturerhöhungen von $0,18^{\circ}\text{C}$ beim FIXODONT und $0,30^{\circ}\text{C}$ beim KUPFERZEMENT; die Werte für PLERODONT, ACHATIT und Steinzement betrugen $0,48^{\circ}\text{C}$, $0,54^{\circ}\text{C}$ bzw. $0,72^{\circ}\text{C}$.

Bei den thermoplastischen provisorischen Verschlußmitteln bzw. thermoplastischen Abdruckmaterialien GUTTAPERCHA, DUOPERCHA und KERK fanden wir bei praxisüblicher Applikation im Durchschnitt maximale Werte von $2,80^{\circ}\text{C}$. Wurde PREPON-Gußwachs in flüssiger Form in die Kavität gebracht, so betrug der Temperaturanstieg $4,08^{\circ}\text{C}$, bei Verwendung in plastischem Zustand dagegen nur $1,74^{\circ}\text{C}$.

Beim Finieren von Amalgam- und Goldgußfüllungen mit der schnurgetriebenen Bohrmaschine ohne Spraykühlung traten im Gegensatz zur Dental-Turbine ganz geringe, unwesentliche Temperaturerhöhungen auf. Die Untersuchungen mit den verschiedenen Gummipolierern ließen erkennen, daß nur bei der Politur mit einer "weißen Linse" oder einem "weißen Kelch" zusammen mit Schlämmschleifmittel ein Temperaturanstieg ausbleibt.

Ein Vergleich der oben genannten Resultate mit den Meßergebnissen bei der Präparation von okklusalen Kavitäten ergab für die Präparation mit der schnurgetriebenen Bohrmaschine ohne Kühlmittel und für die Turbinenpräparation mit Luftkühlung größere Temperaturerhöhungen (maximal $7,6^{\circ}\text{C}$), während bei der Turbinenpräparation mit Spraykühlung ein Temperaturabfall festzustellen war.

Auf Grund unserer Untersuchungen kommen wir zu der Auffassung, daß eine thermische Schädigung der Pulpa durch die Applikation der genannten Füllungs- und Abdruckmaterialien sowie bei der Turbinenpräparation, wenn diese unter Benutzung des Wassersprays erfolgt, unwahrscheinlich ist.

D. Literaturverzeichnis

- Castagnola, L. u. v. Arx, H. Selbstpolymerisierende Kunststoffe
Schwzr. Mschr. f. Zhkd., 64. Jahrg. 1954
- Effinger, A. u. Fecht, J. Die Zahnzemente
in Eichner, K.: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung
Berlinische Verlagsanstalt GmbH., Berlin 1960
- Eichner, K. Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung
Berlinische Verlagsanstalt GmbH., Berlin 1960
- Falck-Weikart Werkstoffkunde für Zahnärzte
3. Auflage, C. Hanser Verlag, München 1959
- Fechner, U. Temperaturmessungen an Zahnhartsubstanzen beim normal-, hoch- und höchsttourigen Bohren (Fräsen)
DZZ, 18. Jahrg., H. 3, 1960
- Friedmann zitiert nach Türkheim
- Fuhr, K. Das Für und Wider des hoch- und höchsttourigen Schleifens
DZZ, 19. Jahrg., H. 10, 1964
- Gräf, W. Die thermische Belastung der Zähne beim Verzehr extrem heißer und kalter Speisen
DZZ, 15. Jahrg., H. 1, 1960
- Haim, G. Weitere Materialien für die konservierende Behandlung
in Eichner, K.: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung
Berlinische Verlagsanstalt GmbH., Berlin 1960
- Hamperl, H. Lehrbuch der Allgemeinen Pathologie und der Pathologischen Anatomie
24./25. neubearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960
- Hensel, H. u. Mann, G. Temperaturschmerz und Wärmeleitung im menschlichen Zahn
Stoma, 9. Jahrg., H. 2, 1956
- Hofmann, M. Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum beim Beschleifen der Zähne
DZZ, 14. Jahrg., H. 6, 1959

- Hofmann, M. Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum und an der Schnittfläche bei der Präparation der Zahnhartsubstanzen unter Verwendung der Turbine
DZZ, 16. Jahrg., H. 8, 1961
- Jung, T. Schleif- und Poliermittel in Eichner, K.: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung Berlinische Verlagsanstalt GmbH., Berlin 1960
- Klos, H. u. Rottke, R. Experimentelle Untersuchungen zum Temperaturproblem beim höchsttourigen Bohren und Schleifen mit Turbinengeräten
DZZ, 15. Jahrg., H. 24, 1960
- Kluczka, J. Die Kunststofffüllung Dtsch. Zahnärztekl., 16. Jahrg., 1957
- Kluczka, J. Die Auswirkungen des hoch- und höchsttourigen Schleifens und Bohrens auf Dentin und Pulpa
ZWR, 60. Jahrg., Nr. 15, 1959
- Kluczka, J. Möglichkeiten und Grenzen des Bohrens und Schleifens mit höchsten Drehzahlen Zahnärztl. Praxis, 11. Jahrg., Nr. 3, 1960
- Martin, R. Experimentelle Untersuchungen an dem schnellhärtenden Kunststoff Palavit im Vergleich zu Hesacryl
Inaug. Diss., Marburg 1952
- Müller, O. zitiert nach Weder
- Pauly, E. Untersuchungen über eine neue Methode zum Füllen von Frontzahnkavitäten mit thermoplastifiziertem Kunststoff (Polycarbonat)
Diss., Düsseldorf 1964
- Rehberg, H.-J.. Zahnärztliche Wachse in Eichner, K.: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung Berlinische Verlagsanstalt GmbH., Berlin 1960
- Richter, J. u. Stüben, J. Ein Beitrag zur Temperaturmessung im Zahn mit experimentellen Untersuchungen über die Temperaturleitfähigkeit der Zahnhartgewebe sowie verschiedener zahnärztlicher Zemente und Kunststoffe
DZZ, 17. Jahrg., H. 13, 1962

- Stein,U. Die thermischen und mechanischen Einflüsse auf die Zahnhartsubstanzen durch normal-, hoch- und höchsttourige Präparation
DZZ, 19.Jahrg., H.10, 1964
- Stüben,J. Grundlagen der Temperaturmessung im Zahn
DZZ. 16.Jahrg., H.3, 1961
- Stüben,J. Experimentelle Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit der Zahnhartsubstanzen sowie verschiedener zahnärztlicher Werkstoffe
DZZ, 17.Jahrg., H.1, 1962
- Stüben,J. u. Hoppe,W.F. Experimentelle Untersuchungen über die Temperaturveränderung in der Zahnhartsubstanz beim höchsttourigen Bohren und Schleifen
DZZ, 17.Jahrg., H.6, 1962
- Stüben,J. u. Hoppe,W.F. Experimentelle Untersuchungen über die Veränderungen der Pulpa nach normal- und höchsttourigem Schleifen und Bohren im histologischen Bild
DZZ, 19.Jahrg., H.7, 1964
- Türkheim,H. Die Sinnesphysiologie der Mundhöhle und der Zähne
Dtsch.Zhkd., H.52, 1921
- Walter,H.-G. u. Leineweber,G. Messungen mit Thermoelementen im Pulpenkavum extrahierter Zähne bei Airotor-Präparationen
Schwzr.Mschr.f.Zhkd., 70.Jahrg., 1960
- Walter,H.-G. u. Leineweber,G. Messungen mit Thermoelementen im Pulpenkavum extrahierter Zähne bei Airotor-Präparationen mit vorgewärmtem Kühlwasser
Schwzr.Mschr.f.Zhkd., 70.Jahrg., 1960
- Vogelsang,H. zitiert nach Weder
- Weder,M. Über die Veränderungen der Pulpa des menschlichen Zahnes nach Beschleifen mit hohen Geschwindigkeiten
DZZ, 15.Jahrg., H.2, 1960
- Westphal,W.H. Kleines Lehrbuch der Physik
3.verbesserte Auflage, Springer-Verlag
Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958

Ich danke Herrn Prof. Dr. H. Pantke herzlich für die Überlassung des Themas sowie für seine immer verständnisvolle Unterstützung.

Dem Direktor des Institutes für Angewandte Physik, Herrn Prof. Dr. Wolter, danke ich, daß er mir die Gelegenheit gab, die Experimente in seinem Institut durchführen zu dürfen.

Herrn Prof. Dr. Dr. H. Heuser danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Lebenslauf

Am 18.4.1938 wurde ich, Hans-Jürgen Otto Ebert, als erstes Kind des Lehrers Otto Ebert und seiner Ehefrau Frieda geb. Meier in Schömberg/Schlesien geboren.

Im Herbst 1944 erfolgte dort meine Einschulung. Nach der Vertreibung aus der Heimat im Sommer 1946 fanden meine Eltern, meine inzwischen geborene Schwester und ich in Warstade, Kreis Land Hadeln, eine zweite Heimat.

Von 1949 bis 1952 besuchte ich das Staatliche Athenaeum in Stade N.E. und nach unserem Umzug nach Oiste, Kreis Verden/Aller, im Mai 1952 das Domgymnasium in Verden/Aller. 1958 bestand ich die Reifeprüfung und begann mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Philipps-Universität in Marburg a.d.Lahn. Im Herbst 1960 legte ich die Zahnärztliche Vorprüfung ab. Meine Approbation erhielt ich am 30.8.1963. Seit dem 1.10.1963 bin ich an der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Marburg a.d.Lahn zunächst bis 30.11.63 als Medizinalassistent, dann als Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle tätig.

Meine akademischen Lehrer an der Philipps-Universität Marburg a.d.Lahn waren die Herren Professoren und Dozenten:

Braun-Falco, Dimroth, Ebbinghaus, Gedigk, Hennis, Hering, Heuser, Hornung, Janke, Kottmeyer, Lang, Löhr, Mahr, Marx, Maurath, W.Meyer, Niessing, Nieth, Oksche, Pantke, Petry, Prinz, Roger, Rollhäuser, Rosemann, Schmidt, Seidel, Siegert, Siess, Vogt, Walcher.



